昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，April 2007，50(4)：335 - 342　　ISSN 0454-6296

豆野螟成虫行为学特征及性信息素产生与释放节律

陆鹏飞[1]，乔海莉[2]，王小平[1]，周兴苗[1]，汪细桥[3]，雷朝亮[1,*]

（1. 华中农业大学植物科技学院昆虫资源研究所，武汉　430070；
2. 北京林业大学森林培育与保护教育部重点实验室，北京　100083；
3. 武汉市蔬菜技术服务总站，武汉　430070）

摘要：豆野螟 *Maruca vitrata* (Fabricius)是一种严重的泛热带豆类蔬菜害虫。本文在(29 ± 1)℃、相对湿度 75% ~ 80%、光周期 14L∶10D 条件下研究了豆野螟成虫的羽化、交尾行为以及雌蛾性信息素的释放节律。结果表明：其羽化行为全天可见，在雌蛾中，86%于暗期羽化；在雄蛾中，73%于暗期羽化。雌雄蛾羽化行为在暗期第 4、5 和 8 h 差异达到显著（$t>4$；$P<0.05$）。交尾活动发生在暗期 19：00 到 5：00 之间，交尾持续时间最短约为 20 min，最长约为 90 min，3 日龄进入暗期第 5 h 具有最高的交尾率。1、6 和 7 日龄成虫具有单个交尾高峰，2 到 5 日龄成虫具有两个交尾高峰。同一日龄成虫交尾在暗期前半段平均花费的时间要明显高于在后半段花费的时间。低龄和高龄的成虫用于交尾的时间明显高于中龄的性成熟成虫。成虫的开始交尾时间随着日龄的增加逐渐前移。雄蛾对进入暗期后第 5 h 和第 9 h 处女雌蛾的性腺提取物和空气收集性信息素的触角电位反应最强，对 3 日龄处女雌蛾的性腺提取物和空气收集性信息素的触角电位反应最强。处女雌蛾田间诱蛾试验表明：23：00 - 01：00 为诱蛾高峰期，3 日龄处女雌蛾的诱蛾效果最好。该蛾的羽化、交尾及性信息素产生与释放均存在节律上的一致性。雌蛾的性信息素释放的时间较长，见于整个暗期，然而交尾行为发生时间较短，主要发生于两个交尾高峰之间。

关键词：豆野螟；羽化；交尾；性信息素；节律；触角电位反应；诱蛾效果

中图分类号：Q965　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2007)04-0335-08

Adult behavior and circadian rhythm of sex pheromone production and release of the legume pod borer, *Maruca vitrata* (Fabricius) (Lepidoptera: Pyralidae)

LU Peng-Fei[1], QIAO Hai-Li[2], WANG Xiao-Ping[1], ZHOU Xing-Miao[1], WANG Xi-Qiao[3], LEI Chao-Liang[1,*]
(1. Institute of Insect Resources, College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Wuhan Vegetable Technology Service General Station, Wuhan 430070, China)

Abstract: The legume pod borer, *Maruca vitrata* (Fabricius), is a serious pantropical insect pest of grain legumes. Adult behavior and circadian rhythm of sex pheromone production and release of the legume pod borer were investigated at (29 ± 1)℃ and 75% - 80% RH under 14L∶10D. The results showed that the emergence activity of *M. vitrata* occurred throughout the day, and 86% of females and 73% of males emerged during the scotophase. The differences of emergence behavior between both sexes were statistically significant during the 4th, 5th and 8th hour of the scotophase ($t>4$; $P<0.05$). The mating behavior took place from 19:00 to 05:00. The mating duration varied from 20 to 90 min. The highest mating frequency occurred during the 5th hour of the scotophase for 3-day-old moths. Single mating peaks were observed for 1-, 6- and 7-day-old moths, while double mating peaks were observed for 2- to 5-day-old moths. Adults of the same age spent longer time in mating during the first half of the scotophase than during the second half of the scotophase. The mating behaviour of the moth was age-dependent. Young and old pairs spent more time in

基金项目："十一五"国家科技支撑计划项目(2006BAD17B08)；武汉市科技计划项目(200720422145)；湖北省博士后科技活动项目
作者简介：陆鹏飞，男，1976 年生，山西大同人，博士研究生，从事昆虫化学生态学方面的研究，E-mail：lpengfei224@webmail.hzau.edu.cn
* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail：ioir@mail.hzau.edu.cn
收稿日期 Received：2006-10-23；接受日期 Accepted：2007-03-19

mating than mature pairs of the middle age. Advanced onset of time and peak for mating were observed directly by older moths. The EAG response of male moths was highest to the crude extract of pheromonal glands and air collection from 3-day-old virgin female moths and during the 5th and 9th hour of the scotophase. In the field tests, the highest percentage of the male moths was trapped during 23:00 – 01:00, and more male moths were trapped by 3-day-old virgin female moths than by female moths of other age. The emergence activity, mating activity and the female sex pheromone release were synchronized at different ages and time of the scotophase. The sex pheromone release was almost constant throughout the scotophase, but mating behavior concentrated between the two mating peaks.

Key words: *Maruca vitrata*; emergence; mating; sex pheromone; rhythm; EAG response; moth trapping

豆野螟 *Maruca vitrata* (Fabricius) (syn. *M. testulalis*) (Lepidoptera: Pyralidae)，又称豇豆荚螟、豆卷叶螟，俗称豇豆钻心虫，主要分布在亚洲、非洲、南北美洲和大洋洲(Shama, 1998)，在我国从南到北均有发生。其寄主包括豆科(Papilionaceae)、苏木科(Caesalpiniaceae)、胡麻科(Pedaliaceae)、含羞草科(Mimosaceae)和锦葵科(Malvaceae)的5科20属39种作物(柯礼道等，1985；Shama, 1998)。豆野螟对豆类蔬菜的危害尤为严重，初孵幼虫钻蛀为害豇豆 *Vigna unguiculata* L.、四季豆 *Phaseolus vulgaris* L.、扁豆 *Dolichos lablab* L.、木豆 *Cajanus cajan* L.等表面少毛的豆类蔬菜的花蕾、嫩茎、幼荚，造成大量的落蕾、落花、落幼荚，影响产量；3～4龄幼虫钻蛀危害豆荚，使豆荚出现蛀孔，荚内虫粪堆积，严重影响食用和商品价值(Taylor，1967；柯礼道等，1985)。特别是对豇豆的危害尤为严重，此虫为害豇豆等常造成"十荚九蛀"，一般田块株被害率85%～95%，花被害率85%以上，产量损失达到20%～60%，大发生年份若不进行防治几乎绝收。

为了探索防治豆野螟的新方法和新途径，近年来，作者对豆野螟的羽化和交尾进行了全面细致的观察，包括羽化交尾的行为、时动态节律、日动态节律以及雌雄寿命与性比；同时采用昆虫性信息素取样技术、触角电位技术(electroantennography, EAG)，准确了解豆野螟性信息素产生与释放的动态节律，并且通过田间处女蛾诱捕试验进一步验证。关于豆野螟性信息素的研究有个别报道(Adati and Tatsuki, 1999；Downham *et al*., 2003)，但是关于其性行为及性信息素释放节律的研究国内外均无报道。昆虫性行为及其性信息素释放节律是利用性信息素防治害虫研究中所涉及的重要内容，豆野螟作为一种迁飞性很强的昆虫(Taylor, 1978；柯礼道等，1985)，其性信息素极有可能存在变异，通过研究豆野螟羽化交尾周期和性信息素产生与释放动态节律，可以获得昆虫在繁殖过程中性行为化学通讯的有关信息，进而为下一步对中国豆野螟种群性信息素组分的提取、分离、鉴定及利用性信息素对发生期成蛾进行准确的监测以及田间大量诱捕和干扰交配提供可靠的依据。

1 材料与方法

1.1 试虫及其饲养

于2005年5月下旬开始，在武汉市东西湖区慈惠农场采集豆野螟幼虫，带回室内饲养于其寄主植物豇豆上。将豆野螟低龄幼虫(3龄以前)群养于直径20 cm的圆形玻璃缸中，每日更换新鲜的豇豆花和嫩豆荚；3龄以后幼虫单头饲养于长8 cm、底面直径3 cm的指形管中，内置3～4段约5 cm长的豇豆荚，隔天更换豆荚，直至幼虫化蛹。试验用虫在幼虫3龄以后单头饲养，是为了避免新羽化成虫在被用于试验前就已有交尾。养虫室光周期L:D = 14:10，光期5:00开始19:00结束，温度(29 ± 1)℃，相对湿度75%～80%，安置两盏15 W的红光灯用于夜间观察。

羽化成虫雌雄搭配放入养虫笼(30 cm × 40 cm × 50 cm)，喂以15%蜂蜜水和纯水，每天更换。插入一枝带有花的新鲜豇豆枝条(30 cm)，根部用饱蘸水的棉花包住，在外面包一层保鲜膜保持水分，同时放一个盛放豇豆花的培养皿，供成虫产卵。隔天更换枝条和花，检查豇豆枝条、花上及皿壁的产卵情况，一旦发现有卵，立即将有卵粒的枝条和培养皿全部移入圆形玻璃缸，加入新鲜豇豆花与嫩豆荚，待初孵幼虫取食，按上述方法继续饲养。试验前试虫在室内饲养1～2代。成虫羽化后0～24 h被视作1日龄。

1.2 豆野螟羽化行为及其动态节律

记录每只老熟幼虫的化蛹时间，之后每天上午、

下午定时观察。在第一头成虫羽化后，进行全天 24 h 观察，每隔 1 h 观察 1 次，直到该批虫子全部羽化结束为止。试验重复 3 次，累计查蛹 841 只。记录各个时段羽化成虫的性别、数量。

1.3　豆野螟交尾行为及其动态节律

成虫羽化后，将 15 对 1 日龄成蛾放于同一笼中进行交配。由预备试验获知，成虫只于暗期交尾，所以本试验只在暗期观察记录。每 20 min 记录 1 次交尾情况，连续观察 7 天，试验重复 3 次（共设 3 个养虫笼）。每次检查时记录在此时段开始交尾的对数，每对交尾开始的时间以及交尾持续的时间，最后将数据按每个小时的交尾频率进行统计。

1.4　豆野螟成虫寿命及性比

将同日羽化的雌雄成虫分别置于两个养虫笼中，每天定时记录笼中所剩成虫的性别及其数量，统计其自然死亡率，直至全部死亡为止。

于 2005 年 7 月到 11 月，从田间直接采集豆野螟幼虫，每次检查的花或豆荚的数量均相同。然后在室内饲养直到羽化，饲养方法同上，记录每天羽化的成虫数量及其性别，数据按月进行统计，分析性比。

1.5　豆野螟性信息素产生与释放节律

成虫一羽化就按性别分开饲养于不同的养虫笼中，养虫笼又按其中成虫的性别分别放置于两个隔开的房间中；同一性别的蛾子再按虫龄分开饲养，保证雌蛾全部为处女蛾，并且明确其虫龄。

1.5.1　腺体提取：用手轻轻挤压处女雌蛾的腹部末端，迫使其伸出性信息素腺体，在解剖镜下用眼科手术剪快速剪下腺体，放入已经预先加入重蒸正己烷的尖底玻璃管内，迅速盖紧瓶塞，室温下静置 1 h。然后将提取液转入另一根玻璃管中，封口，－20℃保存待用。

1.5.2　空气收集：按照实验设计要求将一头不同日龄或不同时辰的处女雌蛾放入一个 20 mL 的洁净玻璃瓶中，为了保证试虫正常呼吸，留有一定的开口，但必须保证释放的性信息素不会外露。静置 15～20 min 后立即取出雌蛾，向瓶中加入少量重蒸正己烷，加塞后充分摇匀，迅速将溶液转移到另一洁净玻璃管中，封口，－20℃保存待用。

1.5.3　性信息素的剂量反应曲线：将 10 头处女蛾腺体依次剪下，在管中加入 100 μL 重蒸正己烷，溶液的浓度为 1 FE/10 μL（雌当量，female equivalent，FE）。以此为母液分别配制 10、1、10^{-1}、10^{-2}、10^{-3}、10^{-4}、10^{-5} FE/10 μL 不同浓度梯度的溶液，每个处理进样量 10 μL。以正己烷为对照进行 EAG 反应。

1.5.4　性信息素释放的时动态节律：选取处于 3 日龄处女雌蛾，在整个暗期每隔 1 h 取 10 头处女雌蛾进行一次腺体的提取，在管中加入 100 μL 重蒸正己烷；同时每隔 1 h 取 1 头处女蛾进行性信息素空气收集，提取液经 N_2 进行适当浓缩。以正己烷为对照进行触角电位反应。试验浓度均为 1 FE。

1.5.5　性信息素释放的日动态节律：选取不同日龄羽化的处女雌成虫，进入暗期后 5 h 进行腺体提取，每一日龄取 10 头处女雌蛾进行一次腺体的提取，在管中加入 100 μL 重蒸正己烷；同时每一日龄取 1 头处女蛾进行性信息素空气收集，提取液经 N_2 进行适当浓缩。以正己烷为对照进行触角电位反应。试验浓度均为 1 FE。

1.5.6　触角电位试验：触角电位仪由荷兰 SYNTECH 公司生产，包括微动操作台（SYNTECH MP-15）、刺激控制器（SYNTECH CS-55）、数据采集系统（SYNTECH IDAC-232）。连续气体流量 200 mL/min，刺激气体流量 20 mL/min，刺激时间 0.1 s，刺激间隔 1 min。

试验前将雄蛾触角用眼科手术剪从根部剪下，用单面刀片剪去触角末端一小节，然后用导电胶（SPECTRA 360 ELECTRODE GEL）固定在金属电极上，插入 EAG 探针，放好屏蔽金属罩，观察显示屏，直到基线平稳，表明触角反应良好，可以开始试验。将长条形滤纸（0.5 cm × 3 cm）纵向对折，部分插入巴斯德管的宽口端，然后将待测化合物滴于滤纸上，挥发 30 s 后将其完全推入，进行 EAG 反应。

以上各试验中，所用雄蛾均为 3 日龄蛾，且未经交尾。每个处理在同一根触角上重复测试 3 次，连续测试 6 根触角，每只雄虫只取用 1 根触角。

测试处理刺激顺序是随机的，在剂量测定时，刺激顺序从低到高。为了消除触角适应导致的偏差，测试前后均用正己烷做空白对照，将每次测试中获得的 EAG 反应平均值减去处理前（空白$_x$）与处理后（空白$_{x+1}$）所做的空白对照的 EAG 反应平均值即获得每次的净反应值。

1.6　处女雌蛾田间诱蛾试验

采用三角形诱捕器，材料为白色塑料中空板，两端为等边三角形，边长 30 cm，棱长 40 cm，将 30 cm × 40 cm 涂有粘虫胶的蜡纸板插入诱捕器中。分别将 1 只 1～7 日龄的处女雌蛾放入特制的小纱笼中，放入诱捕器，用细铁丝从上棱中间垂下，距离胶面 2 cm 左右，放入豇豆田中，以无蛾诱捕器做对照。每两小时观察一次诱捕效果，记录各时段诱捕的数量。

试验地位于武汉东西湖区慈惠农场，诱捕器间隔 20 m，随机分布。

2 结果与分析

2.1 豆野螟羽化行为及其动态节律

老龄幼虫刚化蛹时大体呈淡绿色，随后体色逐渐变黄，随着翅的形成在羽化前变为褐色。羽化前，蛹在茧内收缩腹部，不断运动，用头部顶破虫茧，头部蛹壳开裂，成虫从茧中迅速爬出。其羽化行为全天可见。刚爬出的成虫并不马上活动，静置片刻开始向四处爬行，由于翅尚未展开，整个翅呈皱缩状，成虫跳跃式运动。找到合适的场所，开始展翅，1 ~ 2 min 后，翅逐渐伸展，双翅合拢成屋脊状立于背上，再经过大约 5 ~ 10 min 后将翅水平放下，但后翅往往不能完全收拢，20 ~ 30 min 后，前后翅完全合拢，其间常伴随从尾部喷出一股红褐色的液体，雌雄均有此现象。

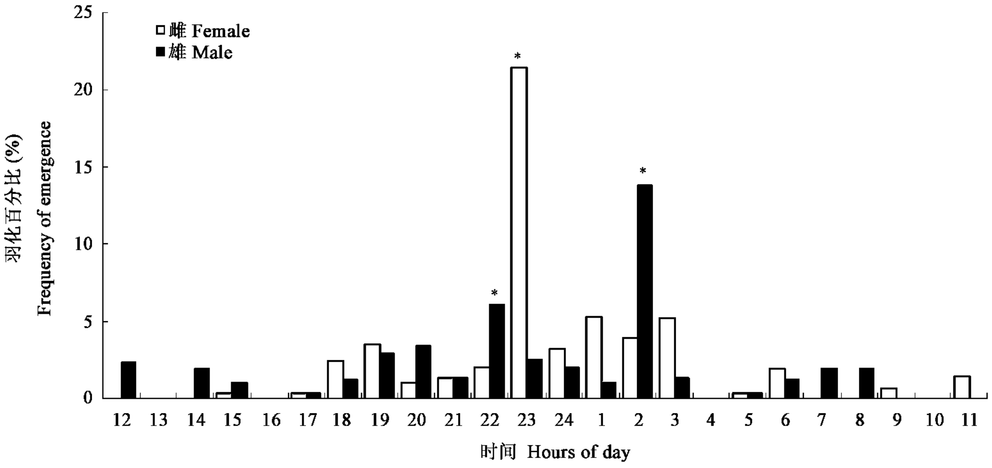

图 1 室内豆野螟成虫羽化的动态节律

Fig. 1 Daily emergence rhythm of *Maruca vitrata* adults in the laboratory

* 代表此时段雌雄羽化百分比差异显著（t 测验，$P < 0.05$），其他未作标记的差异均不显著（t 测验，$P > 0.05$）。光期为 5:00 – 19:00，暗期为 19:00 – 5:00。The asterisks represent significant difference at $\alpha = 0.05$ between both sexes（t-test，$P < 0.05$）. The emergence behaviour at the other time units without asterisk was not significantly different between sexes（t-test，$P > 0.05$）. The photophase was during 5:00 – 19:00；the scotophase was during 19:00 – 5:00.

从图 1 可以看出，不论雌雄，暗期羽化的数量较光期多，80% 的成虫于暗期羽化。雌虫与雄虫暗期羽化的比例分别是 86% 和 73%。对雌雄虫在各个时间单元的羽化百分比进行成对数据的 t 测验，结果表明，雌雄羽化行为在暗期 4 h、5 h 和 8 h 差异达到显著水平（$t > 4$，$P < 0.05$）。

2.2 豆野螟交尾行为及其动态节律

豆野螟成虫在 19:20 – 5:00 进行交尾活动，光期未见交尾。交尾前，雄虫较雌虫更为活跃，往往是雌虫静伏，雄虫则在雌虫周围做盘旋运动，雄虫间歇停止飞行，触角快速的上下震动，频率明显高于雌虫，同时振翅也是雄虫的另一个行为特征。之后雄蛾继续起飞，寻找合适的配偶，最后停落在某个雌虫旁边，不断用翅膀和身体接触雌虫，而雌蛾则被动的移动身体。最后雄蛾爬向雌虫，转身翘起尾部开始交尾。交尾一般选择在笼壁纱网上进行，交尾时雌雄虫均静止不动，均停止触角和翅的振动，此时如果人为将正在交尾的雌雄虫转移到新的观察容器中并不会干扰其交尾的进行，交尾持续时间从 20 ~ 90 min 不等。交尾结束后，雌雄虫分开，但依然保持尾部相对的姿势，这时常见从雌虫的尾部喷出黄褐色的液体。雌雄虫均蛰伏 10 ~ 20 min，一般雄虫先飞离交尾的场所，继续飞行。雌蛾相对静止停留在原地，最长可达 1 h 左右，交尾结束的雌蛾腹部明显增大，致使雌蛾变的不活跃。不论雌雄，均未见到于当晚进行第二次交尾。

从图 2 看出，3 日龄的成虫进入暗期 5 h 具有最强的交配行为。1、6 和 7 日龄成虫出现单个交尾高峰，2 到 5 日龄成虫出现两个交尾高峰。2、3 和 4 日龄成虫的第一个交尾高峰集中于暗期 5 h，5 日龄成虫的第 1 个交尾高峰提前到暗期的 4 h；2、3、4 和 5 日龄成虫的第 2 个交尾高峰呈逐渐前移趋势。观察发现，同一日龄成虫交尾在前半段平均花费的时间要明显高于在后半段花费的时间。从 1 到 7 日龄成虫最早的交尾时间分别为 2:46，23:30，23:18，23:00，22:20，21:26 和 19:20，由此可见成虫开始交尾的时

间随着日龄的增加逐渐前移。低龄和高龄的成虫用于交尾的时间明显高于中龄的性成熟的成虫，从 1 到 7 日龄依次为 75 min，54.3 min，36.7 min，34.9 min，50.3 min，57.3 min 和 90.3 min。

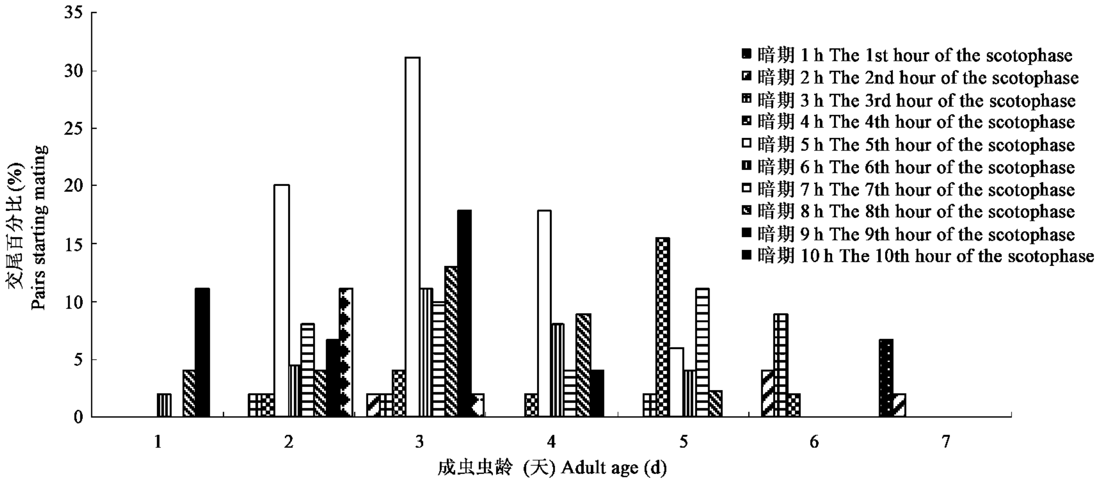

图 2　豆野螟成虫交尾的动态节律

Fig. 2　The percentage of *Maruca vitrata* pairs starting to mate in different age and time during the scotophase

2.3　豆野螟成虫寿命及性比

观察结果表明：雌蛾寿命，最长 17 日龄，最短 4 日龄，平均 15.6 日龄；雄蛾寿命，最长 13 日龄，最短 3 日龄，平均 9.5 日龄。

表 1　豆野螟雌雄比例(2005.7 – 11)

Table 1　Sex ratio of *Maruca vitrata* moths (July – November, 2005)

月份 Month	成虫数量 Number of moths		性比 Sex ratio (♂/♀)
	雌蛾 Female	雄蛾 Male	
7	168	154	0.92
8	67	63	0.94
9	61	54	0.89
10	64	53	0.83
11	32	30	0.94
总计 Total	392	354	0.90

从表 1 可以看出，雌雄两性的数量在 7 月份达到高峰，在随后的 8、9、10 月下降，但幅度尚不明显，到了 11 月份，豆野螟的数量明显降低。豆野螟数量的季节变动和田间豆野螟的发生情况完全一致。通过田间 5 个月的调查，结果表明豆野螟性比为雌∶雄 = 1∶0.9，雌蛾数量稍多，但总体来说，二者数量接近。

2.4　豆野螟性信息素产生与释放的节律

从图 3 看出，雄蛾开始产生反应的浓度为 10^{-4} FE，但反应值很小；对 10^{-2} 和 10^{-1} FE 的性腺粗提物有较大的反应，但值仍较小；对 1 FE 性腺粗提物反应明显增加，以后的变化不太明显，表明达到反应阈值。因此以后的试验均采用 1 FE 作为试验浓度。

豆野螟对雌蛾性信息素反应的时动态节律研究

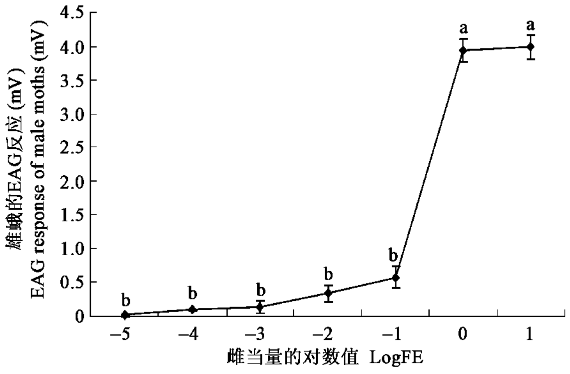

图 3　豆野螟对不同浓度性信息素的 EAG 反应

Fig. 3　EAG response (mean ± *SD*) of male to female sex pheromone content

数据上方标有不同字母表示差异显著。

Data with different letters above are significantly different (Duncan's multiple range test, $P < 0.05$).

表明：不论是性腺提取物还是空气收集性信息素，雄蛾对进入暗期后第 5 和第 9 h 处女雌蛾的性腺提取物的反应达到高峰。这一点与成虫的交尾行为存在一致性：豆野螟成虫在 3 日龄也具有两个交尾高峰，分别在进入暗期后第 5 和第 9 h。日动态节律的研究表明：雄蛾对 1 日龄处女雌蛾的性腺提取物与空气收集性信息素就有反应，对 2 日龄处女雌蛾的反应较高，对 3 日龄的反应最为强烈，4 龄明显降低，随后逐渐降低。这一点与成虫的交尾行为也存在一致性：豆野螟成虫在 3 日龄也具有最强的交尾行为。但不论时动态节律还是日动态节律，空气收集性信息素产生的 EAG 反应较性腺粗提物低一些(图 4，5)。

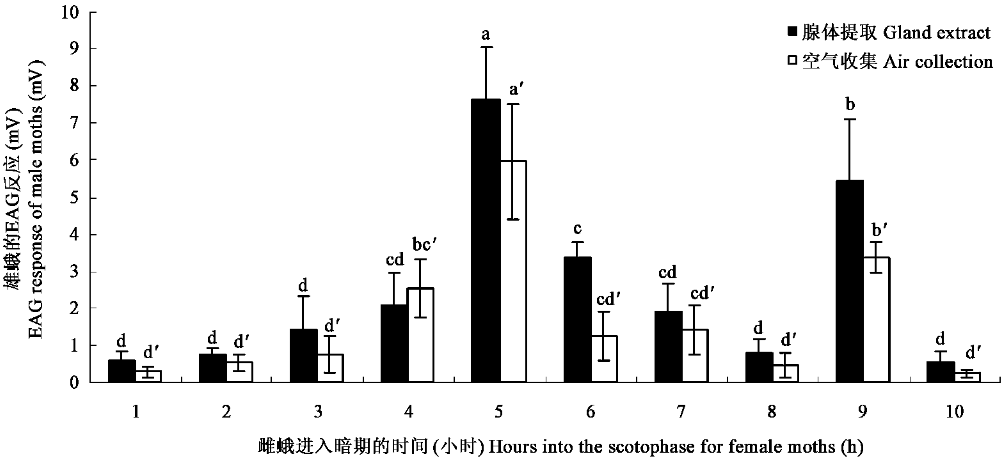

图 4　3 日龄雄蛾对 3 日龄处女雌蛾不同时间性腺粗提物与空气收集性信息素的 EAG 反应(平均值 ± *SD*)

Fig. 4　The EAG response (mean ± *SD*) of 3-day-old male moths to the crude extract of pheromonal glands and air collection from 3-day-old virgin females in different time during the scotophase

相同类型柱子上端标有不同字母表示差异显著(邓肯式新复极差测验, $P<0.05$),下图同。

Columns of the same type with different letters are significantly different (Duncan's multiple range test, $P<0.05$). The same for Fig. 5.

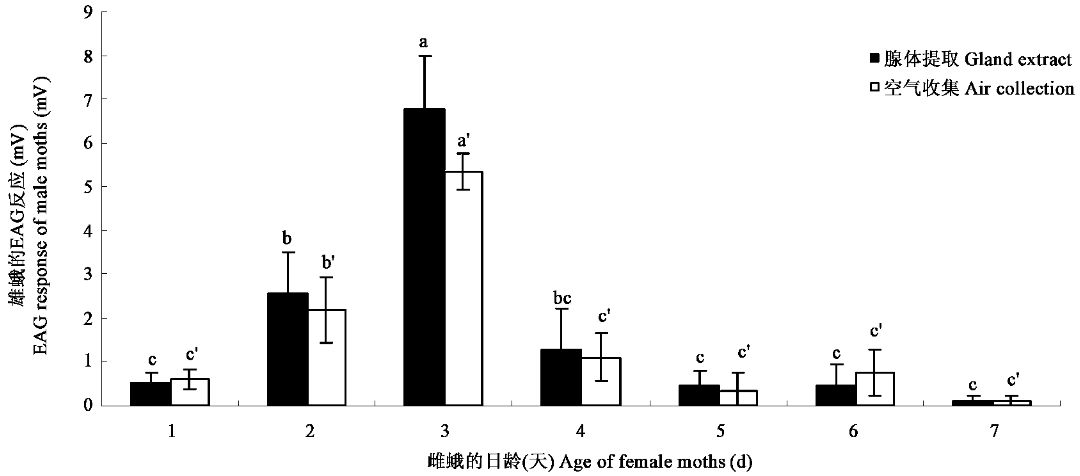

图 5　雄蛾在进入暗期第 5 h 对不同日龄处女雌蛾性腺粗提物和空气收集性信息素的 EAG 反应(平均值 ± *SD*)

Fig. 5　The EAG response (mean ± *SD*) of male moths to the crude gland extract and air collection sex pheromone of 1- to 7-day-old virgin females at the 5th hour into the scotophase

2.5　处女雌蛾田间诱蛾试验

由表 2 可以看出,刚进入暗期的处女雌蛾的诱蛾效果较差,第一个诱蛾高峰出现在 23:00－01:00 之间,几乎占到总诱蛾量的一半;在暗期的余下时间里,诱蛾效果依然较好,03:00－05:00 出现另一个诱蛾高峰。进入光期未诱到蛾。不同日龄处女雌蛾在田间的诱蛾百分率的研究表明,3 日龄的诱捕效果最好,2、4 和 5 日龄的诱捕效果相当,1、6 和 7 日龄的诱捕效果较差(表 3)。

表 2　处女雌蛾在田间不同时间的诱蛾百分率

Table 2　Percentage of the male trapped by virgin females during different time of the day in the field

时间 Time	处女蛾诱蛾百分率(%) Percentage of the male moths trapped
19:00－21:00	5.26
21:00－23:00	7.89
23:00－01:00	47.37
01:00－03:00	13.16
03:00－05:00	26.32
05:00－19:00	0

表 3　不同日龄处女雌蛾在田间的诱蛾百分率

Table 3　Percentage of the male trapped by 1- to 7-day-old virgin females in the field

处女蛾日龄 Age of the virgin female moths (d)	处女蛾诱蛾百分率(%) Percentage of the male moths trapped
1	5.26
2	15.79
3	39.47
4	15.79
5	18.43
6	2.63
7	2.63

3　讨论

从雌雄成虫交尾行为的比较分析来看，豆野螟的交尾行为在不同虫龄间差异很大。随着虫龄的增加，其交尾的起始时间提前，进入交尾高峰期的时间不断前移。这一点和许多鳞翅目昆虫的求偶行为非常相似(Delisle and Royer, 1994; Edmonds *et al*., 2000)。Konno 和 Sato (1978)证实水稻二化螟 *Chilo suppressalis* Walker 的高龄成虫进入暗期后很快就开始交尾，与豆野螟的交尾行为非常相似。

本研究表明，较低日龄和较高日龄成虫的交尾持续的时间比中等日龄更长，其差异达到显著水平。这是因为较低日龄和较高日龄成虫的交尾成功率很低，因此，通过增加交尾持续的时间来增加其竞争能力，在某种程度上具有一定的补偿作用。Delisle (1995)在实验室和田间均证实蔷薇斜条卷叶蛾 *Choristoneura rosaceana* 同样存在上述现象。

由此可见，随着虫龄的增加，生殖行为逐渐提前以及低龄与高龄成虫交尾持续期延长这些现象对于某些鳞翅目昆虫来说是一种适应性的生殖策略，通过这种方式可以使得它们获得更多的交尾机会。

从雌雄的羽化行为的比较分析来看，雄蛾的羽化高峰出现在进入暗期的第 4 和第 8 h，雌蛾的羽化高峰则出现在进入暗期第 5 h，二者第一个羽化高峰较为接近；从羽化与交尾行为的比较分析来看，2～4 龄成蛾第一个交尾高峰出现在进入暗期第 5 h，具有最强交尾行为的 3 日龄蛾的第二个交尾高峰出现在暗期第 9 h，这和羽化的高峰时段也是非常接近。

交尾行为和雄蛾对性信息素的电生理反应也存在一致性。具体表现为：最高的交尾行为发生在 3 日龄成虫进入暗期后第 5 和第 9 h，而雄蛾对 3 日龄进入暗期后第 5 和第 9 h 的雌蛾的性腺提取物以及空气收集性信息素产生最强的 EAG 反应。处女蛾于田间一天的不同时间的诱捕效果，可以反应雌蛾性信息素的释放节律，也可以反应雄蛾对性信息素的反应节律。处女雌蛾田间诱蛾试验表明：23：00－01：00 为诱蛾高峰期，3 日龄处女雌蛾的诱蛾效果最好。这一结果从田间验证了豆野螟雌蛾性信息素的释放存在着一定的时辰节律和日节律。相似的结果见于 Ohbayashi 等(1973)对斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 的研究。结果发现雄蛾对处女雌蛾的性腺粗提物的反应规律与雌蛾召唤节律以及实际的交尾节律也是完全一致的。Kanno (1981)认为雄蛾对雌蛾性腺粗提物的反应和交尾行为的关系非常密切，这是因为交尾行为的启动正是受到雌雄两性间性信息素交流的影响。Mazor 和 Dunkelblum (2005)总结了许多鳞翅目昆虫的求偶交尾行为和性信息素的产生与释放之间的关系，许多种类在这些方面都表现出节律上的一致性(Ohbayashi *et al*., 1973; Gemeno and Haynes, 2000)，也有部分种类两者的关系不一致或者不是十分明确(Delisle and Mcneil, 1987; Delisle and Royer, 1994)。

综上所述，许多鳞翅目昆虫的羽化、交尾和性信息素产生与释放节律均存在或多或少的一致性，这种一致性并非偶然，而是具有一定的生物学意义。Haynes 等(1983)和 Pope 等(1984)对于昆虫的性行为和性信息素产生与释放的生理学研究证实，许多昆虫表现出明显的时辰节律，其羽化、交尾和性信息素产生与释放节律均存在一致性。研究发现，这些生理行为是由环境和生理因子通过内分泌系统进行控制的(Blomquist and Dillwith, 1983)。

作者的试验结果表明，羽化、交尾和性信息素产生与释放节律也不是完全一致的。比如雌蛾的性信息素释放的时间较长，雄蛾对进入暗期不同时段的雌蛾性腺粗提物或空气收集性信息素均有反应，然而交尾行为则主要发生于两个交尾高峰之间，除此之外几乎很少有交尾行为被观察到，发生时间较短。其实这种差异并非难于理解：因为成虫交尾行为的启动依赖于雌蛾体内一定量性信息素的积累性，信息素合成的开始时间自然应早于交尾行为，因此在交尾达到高峰前就会有性信息素的合成与释放；在交尾高峰结束以后，从经济学的原则看，腺体内性信息素的含量亦应正好降到引发生殖行为的阈值上下，残余的部分性信息素被逐渐分解掉，最终腺体内的性信息素含量降为零。

近几年来，昆虫信息素以其高效、持久、无毒、专一性强，不伤害天敌和有益生物，不污染环境，操

作简单,成本低，与其他虫害防治措施(尤其是生物防治)组配表现出很好的相容性等优点,已受到国内外学者的高度重视,并正成为害虫综合治理中的重要措施之一。研究豆野螟性行为及其性信息素释放节律是利用其性信息素防治害虫研究中所涉及的重要内容,也是昆虫繁殖过程性行为反应的重要环节。试验结果将为下一步的理论与应用研究奠定坚实的基础。然而,值得注意的是,昆虫的性行为及其性信息素产生与释放是受到各种环境条件和生理因子的影响,比如寄主植物、温度、日照长度、光照周期和湿度等等均为影响其的生态因子,为了让这些参数应用于更广泛的地域,还需做进一步的研究。

参 考 文 献 (References)

Adati T，Tatsuki S，1999. Identification of female sex pheromone of the legume pod borer，*Maruca vitrata* and antagonistic effects of geometrical isomers. *J. Chem. Ecol.*，25：105－115.

Blomquist GJ，Dillwith JW，1983. Pheromones：biochemistry and physiology. In：Downer RGH，Laufer H eds. Endocrinology of Insects. New York：Alan R. Liss. 527－542.

Delisle J，Royer L，1994. Changes in pheromone titer of oblique-banded leafroller，*Choristoneura rosaceana*，virgin females as a function of time of day，age，and temperature. *J. Chem. Ecol.*，20：45－69.

Delisle J，1995. Effect of male and female age on the mating success of the obliquebanded leafroller *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera：Tortricidae) under different ecological conditions. *J. Insect Behav.*，8：781－799.

Delisle J，McNeil JN，1987. Calling behavior and pheromone titre of the true armyworm *Pseudaletia unipuncta* (Haw.) (Lepidoptera：Noctuidae) under different temperature and photoperiodic conditions. *J. Insect Physiol.*，33：315－324.

Downham MCA，Hall DR，Chamberlain DJ，Cork A，Farman DI，Tamò M，Dahounto D，Datinon B，Adetonah S，2003. Minor components in the sex pheromone of the legume pod borer，*Maruca vitrata* (F.) (Lepidoptera：Pyralidae)：development of an attractive blend. *J. Chem. Ecol.*，29：989－1 011.

Edmonds RP，Borden JH，Angerilli NPD，Rauf A，2000. A comparison of the developmental and reproductive biology of two soybean pod borers，*Etiella* spp. in Indonesia. *Entomol. Exp. Appl.*，97：137－147.

Gemeno C，Lutfallah AF，Haynes KF，2000. Periodical and age-related variation in chemical communication system of black cutworm moth，*Agrotis ipsilon*. *J. Chem. Ecol.*，26：329－342.

Haynes KF，Gaston LK，Pope MM，Baker TC，1983. Rate and periodicity of pheromone release from individual female artichoke plume moths，*Platyptilia carduidactyla* (Lepidoptera：Pterophoridae). *Environ. Entomol.*，12：1 597－1 600.

Kanno H，Sato A，1978. Mating behavior of the rice stem borer moth，*Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera：Pyralidae). Ⅰ. Effects of moth age on mating activity. *Appl. Entomol. Zool.*，14：419－427.

Kanno H，1981. Mating behavior of the rice stem borer moth，*Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera：Pyralidae). Ⅴ. Critical illumination intensity for female calling and male sexual response under various temperatures. *Appl. Entomol. Zool.*，16：179－185.

Ke LD，Fang JL，Li ZQ，1985. Bionomics and control of the legume pod-borer *Maruca testulalis* Geyer. *Acta Entomol. Sin.*，28：51－59. [柯礼道,方菊莲,李志强,1985. 豆野螟的生物学特性及其防治. 昆虫学报，28：51－59]

Mazor M，Dunkelblum E，2005. Circadian rhythms of sexual behavior and pheromone titers of two closely related moth species *Autographa gamma* and *Cornutiplusia circumflexa*. *J. Chem. Ecol.*，31：2 153－2 168.

Ohbayashi N，Yushima T，Noguchi H，Tamaki Y，1973. Time of mating and sex pheromone production and release of *Spodoptera litura* (F.) (Lepidopetra：Noctuidae). *Kontyu*，41：389－395.

Pope MM，Gaston LK，Baker TC，1984. Composition，quantification and periodicity of sex pheromone volatiles from individual *Heliothis zea* females. *J. Insect Physiol.*，30：943－945.

Shama HC，1998. Bionomics，host plant resistance，and management of the legume pod borer，*Maruca vitrata* – a review. *Crop Prot.*，17：373－386.

Taylor TA，1967. The bionomics of *Maruca testulalis* Gey. (Lepidoptera：Pyralidae)，a major pest of cowpeas in Nigeria. *J. West Afr. Sci. Assoc.*，12：111－129.

Taylor TA，1978. *Maruca testulalis*，an important pest of tropical grain legumes. In：Singh SR，Emden HF，Taylor TA eds. Pests of Grain Legumes：Ecology and Control. London：Academic Press. 193－202.

(责任编辑：袁德成)